

원자력 발전용 플랜트 제어를 위한 연동 모듈 시스템의 개발

민경래*, 김훈*, 윤용한*, 김재철*, 황선주**, 이영길**, 백재혁**
 *: 송실대학교 전기공학과 **: (주) 아시아계전 연구소

Development of Interposing Module System
 for Nuclear Power Plants Control

Kyeoung-Rae Min*, Hun Kim*, Yong-Han Yoon*, Jae-Chul Kim*, Sun-Ju Hwang**, Young-Gil Lee**, Jae-Hyuk Baek**
 *: Dept. of Elec. Eng Soong-Sil Univ. **: Asia Research & Development Co.

Abstract - This paper presents a basic interposing module system to control nuclear power plant. In this paper, the system consists of master and loop controller. Also that we developed communication module and control logic software.

경보계통에 알려주는 시스템으로서 발전소의 안정성 측면에서 매우 중요하다(3). 이러한 관점에서 본 논문의 연동 모듈 시스템과 관련된 국내의 기술현황은 다음의 표 1과 같다(1).

1. 서 론

본 논문은 원자력 발전용 플랜트제어를 위한 연동 모듈 시스템의 개발에 대해 기술하였다. 원자력 발전소용 연동 모듈(interposing modules)은 원자력 발전소에 소요되는 설비(펌프, 송풍기, 히터, 전동기 구동밸브, 솔레노이드 밸브, 전기 및 유체구동 밸브 등)를 자동으로 동작시키는 온-오프(on-off) 제어기로서 각종 입/출력 카드, 통신카드, 제어카드 등의 주요 기기와 전원 공급 기기, 지시계, 기록계 등의 보조 기기로 구성된다(1). 이러한 제어 모듈은 루프의 종류가 매우 다양하므로 표준화된 기본 모듈이 필요하다. 이러한 표준화된 기본모듈을 기능에 따라 적절히 조합하여 각각의 제어 기능을 수행함으로써 연동모듈의 효율적인 제어 및 관리가 가능하다.

기존 원자력 발전소 아날로그 계측제어 시스템은 그 시스템의 노후화와 기술의 낙후성으로 인해 운전 및 유지보수 비용이 증가하고 안전성까지 위협받고 있다. 반면에 컴퓨터 기술은 급속도로 발전하여 그 성능의 우수성을 인정받고 여러 산업 분야에서 활용되고 있다. 원자력 산업에서도 이러한 추세와 보조를 같이하여 계측제어 시스템의 디지털화를 위해 전력을 기울이고 있으나 원자력 산업의 특수성인 시스템 안전성 확보에 필요한 개발 기준과 규제방법이 정립되지 못한 관계로 발전이 필요시 되고 있다(2).

원자력 발전에 소요되는 기계, 배관 및 전기설비에 대한 국산화는 대부분 이루어 졌으나 고도의 기술과 높은 신뢰도를 요구하는 계측제어 설비의 국산화는 미비한 상태이고, 상당 부분을 외국 업체로부터 수입에 의존하고 있다. 따라서 국가 기술력의 향상 및 경제적 파급효과를 고려할 때 연동 모듈 시스템의 국산화가 적절히 요구된다 할 수 있다. 이 시스템은 원자력 발전소의 안정성과 운전측면에서 높은 신뢰도와 정확성이 요구되는 품목이다. 이를 위해 시스템을 마스터 시스템부와 루프 컨트롤러로 구성하였다. 그리고 시스템 내부의 통신 프로토콜의 개발과 외부 시스템과의 통신이 가능하도록 개발하였다. 이는 연동 모듈의 제어 알고리즘을 기반으로 하여 개발된 로직 프로그램의 하드웨어적 구현이다. 본 논문에서는 개발한 연동 모듈 시스템의 구성 및 통신 프로토콜을 소개하였다.

2. 국내외 연동 제어 시스템 관련 기술 현황

원자력 발전소용 연동 모듈 시스템은 현장 기기를 제어하고, 기기의 동작 상태를 운전원, 발전소 컴퓨터 및

표 1. 국내의 연동 시스템에 관련 기술 현황

구분	현황
Interposing logic system 관련제품	국외 1. 제품형태 -계전기 방식(구형, 울진1,2호기) -반도체회로 방식(구형, 고리3,4, 영광 1,2호기) -마이크로프로세서 방식(신형, 영광3,4, 울진3,4호기) 2. 공급가능 회사 - FORNEY INC. 미국 - EATON CORP. 미국 - WESTINGHOUSE. 미국 - FOXBORO 미국 - MERINGERIN 프랑스
	국내 1. 신형인 마이크로 프로세서 방식의 개발이 필요 2. 유사한 제품이 개발되어 하수처리 등 소형 설비에 사용 3. 대형설비 및 발전용 설비는 미개발 상태 4. 원자력 발전소에 적용키 위한 인증된 제품은 없음
기간 기술	국외 1. 알고리즘 및 소프트웨어의 개발이 완료됨. 2. 소프트웨어의 신뢰성 확보기술이 개발되어 사용중 3. 하드웨어에 대한 신뢰도 분석 방법이 사용되고 있음 4. 설계시 내진 설계 개념 적용 5. 시스템에 대한 기기 검증 수행 6. 적용 코드 및 표준이 개발되어 사용중
	국내 1. 부분적으로 알고리즘 및 소프트웨어는 개발됨 2. 소프트웨어의 신뢰성 확보 기술이 미흡함 3. 하드웨어에 대한 신뢰성 분석 경험이 거의 없음 4. 구조 설계시 내진 설계 개념이 적용된 적이 없음 5. 시스템에 대한 기기검증기술 경험이 없음 6. 적용 코드 및 표준이 없음
소프트웨어 및 시스템	국외 1. 각 회사마다 교유의 소프트웨어와 시스템을 갖고 있음
	국내 1. 개발할려는 시스템에 사용 가능한 소프트웨어 없음
개발 현황	국외 1. 원자력 발전소의 요구 조건에 따른 제품을 생산 2. 원자력 발전소의 신뢰성 확보 방법이 일반 산업용에 적용되는 추세임
	국내 1. 대부분 주요 소프트웨어를 수입에 의존하여 일반 산업용 제어 시스템에 적용 중 2. 원자력 발전소에 적용되는 제어시스템은 개발이 미비

위의 표 1에서 볼 수 있듯이 국내 반도체 산업과 컴퓨터 산업의 발전으로 일반 사무용과 관련된 설비의 국

산화는 원활히 추진되고 있으나 산업용 계측제어 설비는 한정된 수요와 소량 다품종인 품목인 관계로 국내 개발의 참여가 등한시되어 왔으며 아직도 산업용 계측제어 설비에 대한 기술은 낙후되어 있다. 특히 높은 신뢰도와 품질 보증된 시스템이 요구되어지는 원자력 발전소용 계측제어 설비에 대한 참여 및 기술개발은 미비한 상태이다[1].

3. 연동 모듈 시스템의 소프트웨어 구성

연동 모듈을 제어하기 위해서는 기능별 소프트웨어가 필요하며 이러한 기능들은 간단한 연산으로부터 복잡한 수치연산까지도 필요로 한다. 이를 위하여 연동로직시스템을 하향식 설계(top-down design) 방식으로 구성하였고, 연동모듈의 제어를 위한 소프트웨어는 크게 다섯 부분으로 나누어 구성하여 그림 1과 같은 내부 구성을 가지도록 하였다[4,5].

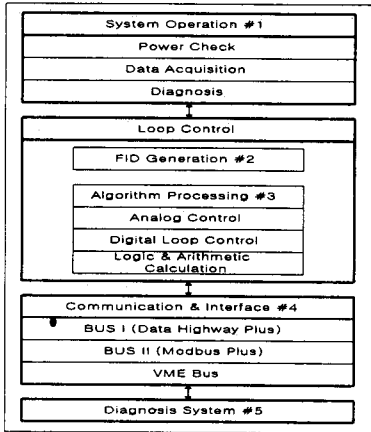


그림 1. 제어모듈 구성도

연동 모듈 시스템에 사용되는 소프트웨어는 대부분 간단한 개별적인 특성을 갖는 모듈들로 구성되어 있으므로 신뢰성, 유지 보수성의 측면에서 큰 장점이 있다.

4. 연동모듈 시스템의 하드웨어 구성

연동모듈을 구현하기 위한 시스템의 구성은 두 개의 시스템 캐비닛과 한 개의 외부 신호 접속 캐비닛으로 구성되며 그림 2와 같다.

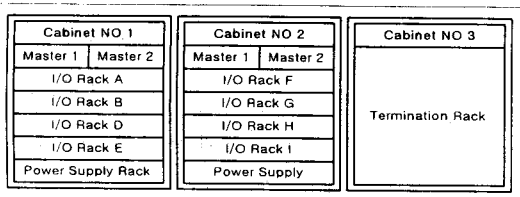


그림 2. 연동 모듈 시스템의 실제 구성도

각 시스템 캐비닛은 마스터 1,2(MS1,2)와 4개의 입/출력 랙(input/output rack), 전원 공급부로 이루어진다. 또한 각 입/출력 랙은 루프 콘트롤러와 입/출력 카드로 구성하였으며 그림 3에서는 하드웨어 구성의 개략도를 나타냈다. 이 시스템의 주요특징은 독립적인 제어 루프와 제어 관리의 구성, 루프 구성의 용이함, 공통모드 고장(common mode failure)을 대비한 이중화 통신 네트워크구성, 입/출력 카드에 CPU를 구성함으로써 입·출력데이터 관리향상, 각 VMEbus(Versa Module

Eurocard bus)를 이용한 신속한 데이터 수집 및 관리가 이루어진다.

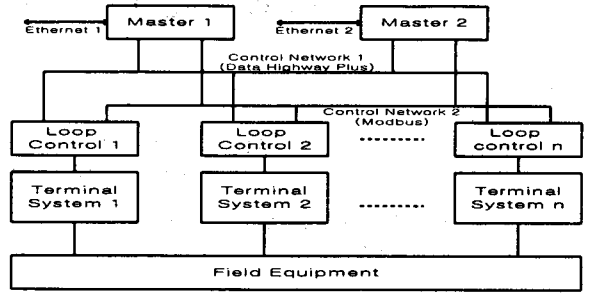


그림 3. 연동 모듈 시스템의 하드웨어 구성

4.1 마스터 시스템부

연동 시스템의 마스터 시스템부(MS1, MS2)는 공통 모드 고장시를 대비하여 독립적인 시스템으로 구축하였으며 일반적인 구성도는 그림 4와 같고 특징으로는 듀얼 마스터 시스템구성, 독립적인 전원 사용, 다양한 통신 프로토콜 제공, VME 인터페이스(마스터/슬레이브) 사용등을 들 수 있다.

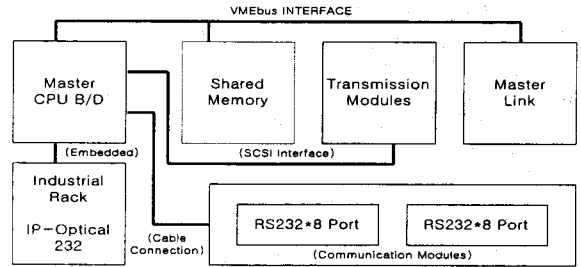


그림 4. 마스터 시스템의 구조

시스템 운영에 필요한 각종 정보를 전송하기 위한 통신 채널은 전송 모듈(transmission module)과 IP-Optical 232를 이용하여 산업용 랙에 접속하여 사용한다. 그리고 방대한 양의 정보처리 및 실시간 운용 시스템(real time operating system)을 위하여 마스터 링크 카드(master link card : MLC)와 메모리 공유를 하였다. 마스터 시스템과 루프제어 모듈과의 데이터 전송은 MLC를 통해 네트워크형태의 RS485 통신으로 이루어진다.

4.2 루프제어 모듈

루프제어 모듈의 구성은 그림 5와 같이 루프제어 기능을 수행하기 위한 루프 제어 카드(loop control card : LCC)와 제어에 필요 신호를 입·출력 할 수 있는 입/출력 카드로 구성되어진다.

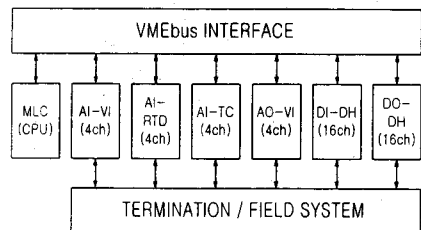


그림 5. 연동제어 루프의 하드웨어 구성

관련 신호는 VMEbus를 통하여 상호전송이 이루어지며 입/출력 카드는 신호에 따라 다음과 같이 구분되어진다.

표 2. 입/출력 카드

입력 신호용 카드	출력 신호용 카드
· 전압 또는 전류신호용 입력카드(AI-VI) · Thermocoupler를 이용한 온도측정용 신호 입력 카드(AI-TC) · RTD 및 저항신호 입력카드(AI-RTD) · 디지털 신호입력 카드(DI-DH)	· 전압 및 전류 출력용 카드(AO-VI) · 디지털 신호 출력용 카드(DO-DH)

위의 입출력 카드는 터미네이션 시스템(termination system)에서 입출력 카드에 적절한 신호레벨로 변환되며, 제어에 관련된 신호들은 VMEBus를 통해 LCC와 데이터를 교환한다. 또한 LCC에서는 관련 데이터를 상위 시스템인 MS1,2에 서로 다른 통신규약으로 전송하는 기능을 가지고 있다.

LCC는 고속의 16비트 마이크로프로세서를 사용하여 입·출력 처리에서 요구되는 많은 기능을 수용할 수 있게 하였으며 VME시스템에 장착되어 마스터/슬레이브로 동작할 수 있도록 구성하였다. 특히 실시간 운영 시스템 환경을 제공하고, 연결된 현장제어기내의 감시, 제어, 계측 모듈들의 데이터 주기를 종류별로 지정된 자료 구조에 의하여 임의 지정이 가능하며 카드 형태로 제작하여 현장유지보수가 용이하도록 구성하였다.

입/출력 모듈은 디지털 입력(DI-DH), 디지털 출력(DO -DH), 아날로그 입력(AI-VI/TC/RTD), 아날로그 출력(AO-VI) 모듈로 구성되어 있다. 각 입/출력 모듈은 원칩마이크로 프로세서를 장착하여 입·출력 데이터를 처리하도록 하였다. LCC와의 인터페이스는 듀얼 포트(dual port) 메모리를 이용하였다. 특히 전원을 듀얼 파워(dual power) 구조로 하여 사고나 불량으로 인해 하나의 파워가 이상이 생기더라도 시스템 전원공급이 차단되지 않도록 하여 신뢰성을 부여하고 전체 보드에 필요한 전원보다 최소 30[%]이상 드라이브 능력을 갖게 하여 안정성을 도모하였다.

4.3 연동 모듈 시스템의 통신

마스터 시스템과 루프제어 모듈과의 통신은 네트워크 형태의 RS485통신으로 이루어지며, 특히 고도의 안정성이 요구되므로 각기 다른 통신 프로토콜로 MS1,2와 연결된다. MLC는 하드웨어적으로 LCC와 같은 구조를 가지며, 소프트웨어 적으로 구별되어진다. 구성은 아래 그림 6과 같다.

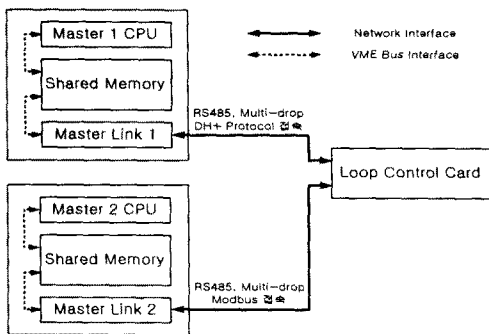


그림 6. 마스터와 루프 제어부의 접속

4.3.1 데이터 하이웨이 프러스

그림 7과 같이 MS1과 LCC간의 네트워크 구성을 위한 통신규약인 데이터 하이웨이 플러스(data highway plus : DH+)는 PLC(Programmable Logic Controller)전문업체인 ALLEN-BRALEY의 LAN (Local Area Network)접속용 통신규약으로 비동기 형태의 다중 연결(multi-drop) 통신으로 운영될 수 있다. 기본 구조는 플로팅 마스터(floating master)의 패싱(passing) 방식으로써, 개개의 통신 장치가 임시적으로 마스터가 되어 데이터를 교환하게 된다[1,6].

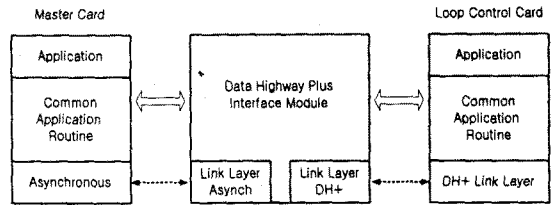


그림 7. 데이터 하이웨이 플러스 네트워크의 구성

4.3.2 Modbus 프로토콜

MS2와 LCC간의 연결은 마스터-슬레이브 테크닉을 사용하여 통신하므로 하나의 통신요청에 의해서만 이 데이터를 보낼수가 있다. 마스터는 개개의 슬레이브와 통신할 수 있으며 모든 슬레이브와도 다중연결 할 수가 있다.

프로토콜의 구성은 그림 8과 같이 질의-응답 순환(query response cycle)을 사용, 아스키(ASCII)모드와 RTU(Remote Terminal Uint)모드인 두 가지 직렬전송 모드를 사용할 수 있는데 각각의 패킷을 정의하여 사용한다[1,6].

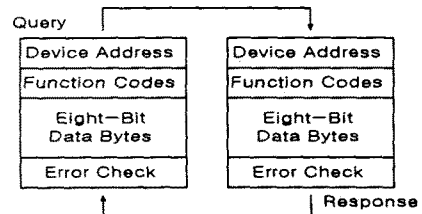


그림 8. 질의-응답 순환

5. 결 론

본 논문에서는 원자력 발전소의 플랜트 제어를 위한 기본 하드웨어를 개발하였다. 하드웨어에 개발된 소프트웨어가 설치되어 하드웨어/소프트웨어의 시험을 끝냈으며 현재 검증 단계에 있다. 개발된 시스템은 연동 모듈의 제어 알고리즘을 기반으로 하여 개발된 로직 프로그램에 적용시키기 위해 마스터와 루프 제어 모듈을 설정하여 구성되었으며 MLC와 LCC사이의 통신을 위해서 DH+ 와 Modbus 프로토콜을 이중으로 사용하여 유사시 운전의 강인성(fault tolerant operation)을 향상시킬 수 있도록 설계되어 전체 시스템 신뢰성을 높였다. 본 논문의 원동 모듈 시스템의 개발을 통해 기존 원자력 발전소의 노후설비를 대체할 디지털 제어계통 기술과 디지털화를 향상시킬 수 있을 것으로 생각된다.

본 논문은 아시아계전주의 지원에 의해서 연구되었음.

(참 고 문 헌)

- [1] 박창두 외, 원자력 발전소용 연동모듈 개발, (아시아계전 연구소, 1997. 3)
- [2] 통상산업부 원자력발전과, 한국전력공사 원자력안전실, 원자력발전백서, pp. 222-236, 통상산업부, 한국전력공사, 1996. 8.
- [3] 권기춘 외, 원전 계측제어 고신뢰도 소프트웨어 확인/검증기술현황, 한국원자력연구소, KAERI/AR-411/94, Chap 5, 1994.
- [4] 김영춘 외, "원자력 발전소 플랜트 제어를 위한 로직 프로그램의 개발", 대한전기학회 하계학술대회 논문집(c), pp. 948-950, 1997. 7.
- [5] 김재철, 원자력 발전소 플랜트 제어용 로직 프로그램 개발, (아시아계전 연구소, pp. 7-24, 1997. 11.
- [6] 강철신 외, 원자력 발전소용 연동 통신 개발, (아시아계전 연구소, pp. 7-33, pp. 55-69, 1998. 2.